



# LA CONTAMINACIÓN QUÍMICA GENERALIZADA DE PELLETS DE PLÁSTICO RECICLADO A NIVEL GLOBAL

Diciembre de 2021

*Autores principales:*

Sara Brosché, Ph.D.  
Jitka Strakova, MSc,

Lee Bell, MSc,  
Therese Karlsson, Ph.D.



por un futuro sin tóxicos

# LA CONTAMINACIÓN QUÍMICA GENERALIZADA DE PELLETS DE PLÁSTICO RECICLADO A NIVEL GLOBAL

DICIEMBRE DE 2021

*Autores*

**Sara Brosché, Ph.D.<sup>1</sup>, Jitka Strakova, MSc.<sup>1,2</sup>, Lee Bell, MSc.<sup>1</sup>, Therese Karlsson, Ph.D.<sup>1</sup>**

**1** Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN), Suecia ; **2** Arnika



**IPEN** (Red Internacional de Eliminación de Contaminantes) es una red de más de 600 organizaciones no gubernamentales que trabajan en más de 120 países a favor de reducir y eliminar los daños a la salud humana y al medio ambiente producidos por sustancias químicas tóxicas. La campaña de IPEN contra las sustancias químicas tóxicas en los plásticos busca eliminar los daños provenientes de las sustancias químicas en los plásticos cuando estos se producen, se utilizan, se reciclan y eliminan.

[ipen.org](http://ipen.org)

ISBN: 978-1-955400-15-2

© 2021. Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN). Todos los derechos reservados.

Equipo de producción de IPEN: Björn Beeler, Betty Wahlund y Tim Warner.

Favor de citar esta publicación como:

Brosché, S., Strakova, J., Bell, L. y Karlsson, T. *La contaminación química generalizada de pellets de plástico reciclado a nivel global*. International Pollutants Elimination Network (IPEN), Diciembre de 2021.

A IPEN le gustaría reconocer que se produjo este documento gracias a las contribuciones financieras del Gobierno de Suecia, de Plastic Solutions Fund (Fondo de Soluciones para el Plástico), un proyecto de los asesores filantrópicos Rockefeller Philanthropy Advisors, entre otros donantes. Los puntos de vista expresados en este documento no necesariamente reflejan la opinión oficial de ninguno de los donantes.

**Portada: (arriba) Pellets de plástico reciclado.** Foto: PANeM, República de Mauricio; **(abajo) Introducir plástico triturado a una máquina para producir pellets.** Foto: CEJ, Sri Lanka



Foto: ESDO, Bangladesh

## CONTRIBUIDORES

IPEN desea agradecer a las siguientes Organizaciones Participantes por el papel instrumental que desempeñaron en la realización de este estudio (en orden alfabético):

- Action sur l'Environnement et le Développement (AED), **República del Congo**
- AGENDA for Environment and Responsible Development (AGENDA), **Tanzania**
- Arnika, **República Checa**
- Association pour la Défense de l'Environnement et des Consommateurs (ADEC), **Senegal**
- Centre For Earth Works (CFEW), **Nigeria**
- Centre for Environmental Justice (CEJ), **Sri Lanka**
- Center for Public Health and Environmental Development (CEPHED), **Nepal**
- Centre for Zero Waste & Development, **Zambia**
- Citizen consumer and civic Action Group (CAG), **India**
- Consumers Association of Penang (CAP), **Malasia**
- Cooperation for Sustainable Development, **Kazajistán**
- Ecological Alert and Recovery Thailand (EARTH), **Tailandia**
- Environmental Ambassadors for Sustainable Development, **Serbia**
- Environment and Social Development Organization (ESDO), **Bangladesh**
- Fronteras Comunes, **México**
- Global Initiative for Environment and Reconciliation (GER), **Ruanda**
- Interfacing Development Interventions For Sustainability (IDIS), **Filipinas**
- Kenana NGO for Sustainable Development, **Egipto**
- Pesticide Action Network (PANeM), **República de Mauricio**
- Research Centre for Gender, Family and Environment in Development (CGFED), **Vietnam**
- Rozbudovo, **Ucrania**
- Taller Ecologista, **Argentina**
- Terre et Développement, **Camerún**
- Toxics Link, **India**
- Wild at Heart Legal Defense Association, **Taiwán**

# CONTENIDO

<b>Mensajes Clave</b> .....	5	Se identificaron varios tipos de plásticos como materia de origen de los pellets.....	13
<b>Antecedentes</b> .....	6	Contaminación química generalizada en los pellets .....	13
El problema de las sustancias químicas tóxicas en los plásticos .....	6	El contenido de sustancias químicas peligrosas despierta preocupaciones sobre los impactos sobre la salud .....	15
Los productos de plástico reciclado pueden contener una variedad de sustancias químicas tóxicas.....	6	<b>Conclusión y recomendaciones</b> .....	17
Aditivos químicos tóxicos en los plásticos .....	7	<b>Anexo 1 Resultados analíticos</b> .....	18
El objetivo y el enfoque .....	10	Retardantes de llama bromados .....	18
<b>El método</b> .....	11	Bisfenol A.....	19
<b>Resultados y discusión</b> .....	13	Estabilizadores de rayos UV .....	20
		<b>Referencias</b> .....	21

## RESUMEN

La solución propuesta para enfrentar la actual crisis de salud y del medio ambiente causada por la sobreproducción masiva de plástico es aumentar la tasa de reciclado del plástico. Sin embargo, casi todos los plásticos contienen sustancias químicas tóxicas que no se retiran durante el reciclado, sino que se trasladan hacia los productos nuevos; además, el proceso de reciclado puede generar sustancias químicas nuevas, como las dioxinas. La intención de aumentar el reciclado es contribuir a la llamada economía circular, aunque no se deben de reciclar los plásticos que contienen sustancias químicas tóxicas. En vez, se les debería considerar materiales no circulares.

El objetivo de este estudio es aumentar la cantidad de información disponible sobre las sustancias químicas tóxicas que se transfieren de los desechos plásticos a los pellets de plástico reciclado a nivel global. Por lo tanto, se procedió a comprar pellets producidos con polietileno de alta densidad reciclado, destinados a ser usados en la manufactura de productos nuevos; la compra se realizó en 24 plantas de reciclado de 23 países diferentes. Se analizaron los pellets para determinar la presencia de 18 sustancias, que representan tres tipos de sustancias químicas tóxicas: 11 retardantes de llama bromados, 6 benzotriazoles estabilizadores de rayos UV y bisfenol A.

Ninguna de las muestras estuvieron libres de todas las sustancias químicas blanco y 21 muestras contenían los tres tipos de sustancias químicas. Más de la mitad de las muestras contenían 11 sustancias químicas o más y 17 muestras contenían cinco o más sustancias químicas que perturban el sistema endócrino.

Los retardantes de llama bromados estuvieron presentes en 22 de las muestras, en donde se detectó con mayor frecuencia DecaBDE, a pesar de aparecer en la lista de contaminantes orgánicos persistentes (COP) del Convenio de Estocolmo para su eliminación global en 2017 sin ninguna excepción de reciclado. En muchos países, se está regulando cada vez más bisfenol A debido a los impactos que tiene sobre la salud de los niños y aún así se le detectó en 22 de las muestras.

Todas las muestras de pellets contenían el estabilizador de rayos ultravioleta UV-326. Sigue emergiendo evidencia de que esta sustancia química puede impactar la expresión genética relacionada con las respuestas inflamatorias e inmunológicas. En la Unión Europea (UE) se clasifica el benzotriazol estabilizador de rayos UV UV-327 como una sustancia extremadamente preocupante y se le detectó en 19 de las muestras. El gran número de sustancias químicas tóxicas en muchas de las muestras resalta la necesidad de también considerar los efectos combinados que potencialmente se pueden dar.

## MENSAJES CLAVE

- Ninguna de las muestras estuvo libre de contaminación química
- Más de la mitad de las muestras contenía 11 o más de las 18 sustancias blanco
- 17 muestras contenían cinco o más sustancias perturbadoras del sistema endócrino
- No se deben reciclar los materiales plásticos que contienen sustancias químicas tóxicas, sino que se les debe considerar no-circulares
- Los productores deben eliminar gradualmente el uso de sustancias químicas tóxicas en los plásticos y asegurarse de divulgar información sobre cualquier contenido tóxico entre los usuarios río abajo, los consumidores, los recicladores y las personas que manejan desechos
- Los gobiernos deben prohibir el uso de grupos de sustancias químicas tóxicas como los retardantes de llama bromados, los bisfenoles y los benzotriazoles-estabilizadores de rayos UV
- Se debe prohibir la exportación de plásticos y desechos plásticos que contengan sustancias químicas tóxicas, sobre todo de desechos electrónicos

# ANTECEDENTES

## EL PROBLEMA DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS TÓXICAS EN LOS PLÁSTICOS

La sobreproducción masiva de plásticos lleva a la generación de grandes cantidades de desechos plásticos, que muchas veces terminan siendo incinerados, tirados en rellenos sanitarios o en basureros y que contaminan el medio ambiente. Además, los plásticos muchas veces contienen varias sustancias químicas tóxicas que se les añaden para imprimirle funciones específicas, como flexibilidad, color y durabilidad (Hahladakis et al., 2018). Esto significa que además de los impactos visibles de la contaminación plástica, la contaminación de sustancias químicas causadas por la manera en la que se manejan actualmente los desechos plásticos puede dañar la salud humana y causar contaminación ambiental generalizada (Takada, 2021).

La solución propuesta para enfrentar la actual crisis de los plásticos, que está ganando cada vez más terre-

nible, en donde se utilizan y descartan los materiales, a un sistema cíclico más sostenible, en donde se producen, utilizan, reutilizan y reciclan los materiales de una manera que limita la extracción de recursos naturales, el uso de energía con la que se asocia y la contaminación.

Sin embargo, se tienen que enfrentar varios obstáculos para poder pasar de este modelo teórico hacia su implementación práctica. Las sustancias químicas tóxicas añadidas a los plásticos son un importante desafío a enfrentar (SCP/RAC, 2020). Se debe de considerar que los plásticos que contienen sustancias químicas tóxicas son no circulares y se les debe eliminar gradualmente ya que el reciclado no retira ninguna de estas sustancias químicas, sino que en vez de eso puede no sólo aumentar el número de sustancias químicas tóxicas, a través de mezclar diferentes tipos de plásticos (Lowe et al., 2021), sino que además puede generar nuevos contaminantes tóxicos, como las dioxinas (Budin et al., 2020).

Este informe busca resaltar las preocupaciones en torno a este reciclado tóxico y proporcionar datos nuevos sobre las sustancias químicas tóxicas que se transfieren desde el proceso de reciclado hacia los productos nuevos a través de medirlas en los pellets de plástico reciclado que se venden alrededor del mundo.

## LOS PRODUCTOS DE PLÁSTICO RECICLADO PUEDEN CONTENER UNA VARIEDAD DE SUSTANCIAS QUÍMICAS TÓXICAS

Es muy limitada la información públicamente disponible sobre la extensión del problema de las sustancias químicas tóxicas en el plástico reciclado. Además, en general, hay muy poca conciencia sobre estas sustancias y sus impactos sobre la salud. Sin embargo, hay estudios que han demostrado que existen miles de aditivos que potencialmente se pueden utilizar en los productos de plástico, muchos de los cuales tienen propiedades peligrosas (Wiesinger et al., 2021).



Foto: ESDO, Bangladesh

no entre los gobiernos, la industria y otros actores, es el concepto de la economía circular, la cual se basa en una intención de pasar de un sistema lineal no sosten-



Foto: ESDO, Bangladesh

En muchos países, se están abriendo mercados nuevos para los plásticos reciclados, lo cual abre nuevas oportunidades para los recicladores comerciales tanto de pequeña como de gran escala. Incluso existen pequeñas unidades de reciclado de uso doméstico.<sup>1</sup> Sin embargo, actualmente no hay transparencia con respecto a qué sustancias químicas se le agregan a los plásticos y es prácticamente imposible que los consumidores, los usuarios río abajo y los recicladores se enteren de lo que contienen los plásticos. Las plantas de reciclado, por lo tanto, tienen una capacidad muy limitada de excluir a los plásticos que contengan sustancias químicas tóxicas.

El hecho de que la comercialización de los productos y componentes plásticos sea global, implica que es incluso más difícil rastrear las sustancias en el plástico, sobre todo en los países de ingresos bajos y medios cuya capacidad de monitoreo e implementación ya de por sí es baja. Este problema se exagera con los enormes volúmenes de desechos plásticos que envían los países de ingresos altos, incluyendo los desechos electrónicos que tienen un alto contenido de sustancias químicas tóxicas, como los retardantes de llama y los metales tóxicos.

1 Ver, por ejemplo, <https://www.fastcompany.com/40486883/these-diy-machines-let-anyone-recycle-plastic-into-new-products>

Para empezar a abordar esta cuestión, la Unión Europea recientemente lanzó una base de datos públicamente disponible<sup>2</sup> que contiene información sobre las sustancias químicas clasificadas como sustancias extremadamente preocupantes<sup>3</sup> contenidas en los productos. Esto busca ayudar a los consumidores a tomar decisiones informadas sobre sus compras y proporcionar a los operadores de desechos información que guíe sus decisiones sobre qué tan adecuadas son esas sustancias químicas para la re-utilización y el reciclado de los productos plásticos. Aunque esta herramienta se dirige principalmente al mercado interno de la UE, potencialmente se le puede utilizar también para evitar la exportación de los productos que aparecen en la lista y de los desechos de los países de ingresos bajos y medios.

### ADITIVOS QUÍMICOS TÓXICOS EN LOS PLÁSTICOS

Las sustancias químicas que comúnmente se le añaden a los plásticos incluyen sustancias que perturban el sistema endocrino, como los bisfenoles, ftalatos, benzotriazoles estabilizadores de rayos UV, metales pesados y retardantes de llama bromados. Entre los impactos sobre la salud que pueden causar estas sustancias químicas se encuentran: diferentes tipos de cáncer,

2 <https://echa.europa.eu/sv/scip>

3 <https://echa.europa.eu/candidate-list-table>

diabetes e impactos sobre los riñones, el hígado y la tiroides, desórdenes metabólicos, impactos neurológicos, inflamación, alteraciones al desarrollo reproductivo masculino y femenino, infertilidad e impactos sobre las generaciones futuras (Flaws et al., 2020).

Muchas de estas sustancias también tienen otras propiedades tóxicas que pueden llevar a impactos sobre la salud posteriores a la exposición, como se describe más adelante.

**Los retardantes de llama bromados (BFR)** son sustancias que se le añaden a los productos para evitar que se incendien. Esta práctica se inició en la década



de los años setenta en respuesta a los incendios causados por las colillas de cigarrillos encendidas y, en particular, se enfoca en añadirle sustancias a la tapicería de los muebles más que exigir mecanismos adicionales de seguridad para los cigarrillos.<sup>4</sup> Típicamente, se utilizan los BFR en plásticos de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), espumas de poliuretano (PU) y plásticos poliestireno (PS).

Existen muchos tipos diferentes de retardantes de llama bromados, incluyendo éteres difenólicos polibromados (PBDE), hexabromociclododecano (HBCD) y tetrabromobisfenol A (TBBPA), cada uno con su propio conjunto de propiedades tóxicas. Se sabe que los PBDE y el HBCD perturban el sistema endocrino, el sistema inmunológico y las funciones reproductivas de los humanos. Afectan de manera negativa el desarrollo del sistema nervioso y pueden tener un impacto negativo sobre el coeficiente intelectual de los niños (Lyche et al., 2015; Vuong et al., 2020). Actualmen-

te, todos los PBDE y el HBCD están incluidos en las listas del Convenio de Estocolmo para su eliminación global.<sup>5</sup> El TBBPA, que se sabe que es una sustancia química que perturba el sistema endocrino, es actualmente el retardante de llama bromado que se produce en los mayores volúmenes (Kodavanti et al., 2014). Cada vez se están utilizando los retardantes de llama bromados más recientes, como 1,2-Bis(2,4,6-tribromofenoxi) etano (BTBPE)<sup>6</sup> y Octabromo-1,3,3-trimetilfenil-1-indano (OBIND)<sup>7</sup> como reemplazos en vez de las sustancias químicas incluidas en la lista del Convenio de Estocolmo.

Existe amplia evidencia biomonitorada de la exposición a los retardantes de llama bromados por parte de la población general, así como de los niños, por su uso en productos electrónicos y otros materiales. Esto incluye la exposición por el aire acondicionado y la alimentación, la exposición neonatal a través de la placenta, la exposición de los bebés a través de la leche materna y la exposición de los infantes al polvo en espacios interiores y a juguetes manufacturados con plásticos reciclados (Fromme et al., 2016; Sugeng et al., 2017).

**Bisfenol A (BPA)** es la sustancia del grupo de los bisfenoles que se utiliza más comúnmente. Se le utiliza en una amplia gama de productos como las pinturas y pegamentos epóxicos, los revestimientos de las latas de alimentos y los recibos de papel térmico. También se le utiliza como un componente en los plásticos policarbonatos, un plástico transparente, duro y quebradizo utilizado en la producción de mamilas, botellas deportivas y envases para alimentos, por ejemplo.

El BPA es una de las sustancias químicas que perturban al sistema endocrino que más se ha estudiado y ya desde la década de los años treinta se habían identificado sus propiedades similares al estrógeno. Desde esas fechas, se han realizado varios cientos de estudios en animales además de más de cien estudios epidemiológicos con poblaciones humanas que han proporcionado evidencia de una multitud de impactos sobre la salud debidos a la exposición al BPA, como perturbaciones de las funciones reproductivas, del metabolismo, de las respuestas inmunológicas, rasgos neurológicos y trastornos neuroconductuales (Vandenberg et al., 2013; Vom Saal et al., 2021).

También se ha demostrado que el BPA tiene un impacto sobre el desarrollo del cerebro del feto, lo cual ha llevado a controles regulatorios específicos sobre el uso

4 <https://www.chicagotribune.com/lifestyles/health/ct-met-flames-tobacco-20120508-story.html>

5 <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/AllPOPs/tabid/2509/Default.aspx>

6 1,2-Bis(2,4,6-tribromofenoxi) etane

7 Octabromo-1,3,3-trimetilphenyl-1-indan



de BPA en las mamilas y demás envases para alimentos y bebidas para niños en un número cada vez mayor de países. En la Unión Europea, el BPA está incluido en la lista de sustancias extremadamente preocupantes (SEP) y se clasifica como tóxico para la reproducción, sensibilizador de la piel y perturbador endocrino. El que una sustancia química quede clasificada como SEP es el primer paso hacia obtener mayores controles de una sustancia peligrosa que apunten hacia la necesidad de empezar a eliminarla gradualmente. También se les exige a los productores e importadores de productos con una concentración de BPA mayor a 0.1% que le proporcionen a los usuarios (a petición expresa) información adecuada sobre el uso y eliminación seguros del producto.

En muchos países del mundo, se ha detectado BPA en orina, sangre, saliva, placenta, tejido adiposo y leche materna humanos (Vandenberg et al., 2010). Los

informes muestran que todos los grupos de edad están expuestos de manera generalizada, aunque, en general, los niños tienen niveles más altos de BPA en la orina que los adultos (Lehmler et al., 2018). Estudios internacionales de biomonitoring indican que más del 90% de los niños en Estados Unidos, Europa, Asia y Australia están expuestos a BPA. Aunque es difícil aislar las fuentes de exposición para los adultos ya que manejan una variedad de productos que pueden contener BPA, se ha asociado la exposición en los niños al uso de productos como las mamilas y juguetes hechos de plásticos policarbonatos (Healy et al., 2015).

**Los benzotriazoles estabilizadores de rayos UV (BUV)** son sustancias que se usan ampliamente y se le añaden a los plásticos para evitar que se degraden por exposición a la luz solar. Pueden migrar desde los plásticos, como los que se utilizan como materiales de contacto directo con alimentos y se han encontrado en



**El reciclado mecánico del plástico.** Se aplastan, separan, lavan y trituran los plásticos recolectados. Una vez triturado, se derrite y se extrude (moldea) el plástico a través de un baño de agua para endurecimiento. Los hilos de plástico se cortan en gránulos y se empaican en bolsas para su uso. Los procesos de producción muchas veces descargan desechos sin control alguno en los sistemas de agua municipales, en rellenos sanitarios o en incineradores.

Fotos: ESDO, Bangladesh, CAG, India, y CEJ, Sri Lanka

la leche materna (Kim et al., 2019), en la orina humana (Asimakopoulos et al., 2013) y en los tejidos adiposos (Wang et al., 2015). Hoy en día, hay muchos tipos diferentes de BUV en uso, aunque es escasa la información publicada sobre los impactos que tiene sobre la salud y el medio ambiente. Sin embargo, se ha visto que varios BUV pueden causar impactos sobre la salud como la perturbación del sistema endocrino (Liang et al., 2017; Sakuragi et al., 2021).

## EL OBJETIVO Y EL ENFOQUE

El objetivo de este estudio es:

- aumentar la cantidad de datos disponibles sobre las sustancias químicas tóxicas que se transfieren de los desechos plásticos a los pellets de plástico reciclado a nivel global;
- utilizar estos datos para crear conciencia sobre el problema de los plásticos no circulares que entran al sistema de reciclado; y
- resaltar la necesidad de que haya transparencia y un derecho internacional a estar informados sobre las sustancias químicas contenidas en los productos manufacturados con plástico tanto virgen como reciclado.

Por lo tanto, se compraron pellets reciclados en 24 plantas de reciclado de 23 países de diferentes regiones del mundo para analizarlos con el fin de evaluar la presencia de retardantes de llama bromados, bisfenol A y estabilizadores de rayos UV. Todas estas sustancias químicas están señalando las fuentes específicas de donde provienen los plásticos utilizados para producir pellets de plástico reciclado y también se asocian con impactos sobre la salud humana.

Se eligió el polietileno de alta densidad (HDPE) como material blanco ya que es uno de los tipos de plástico que se utiliza y recicla más ampliamente.<sup>8</sup> Se le puede utilizar como HDPE virgen para productos similares y los productos que los fabricantes y los minoristas mencionan que están hechos con HDPE reciclado incluyen, por ejemplo, tubos de plástico, madera de plástico para parques de diversiones, mesas de picnic y patios de exteriores; botellas para uso no alimentario como para detergentes, productos de limpieza, acondicionadores y champús; y juguetes para niños.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> <https://www.recyclingtoday.com/article/improving-hdpe-recycling/>

<sup>9</sup> Ejemplos de <https://www.letsrecycleit.eu/hdpe-recycling/>; <https://www.aaapolymer.com/hdpe-recycling/>; <https://www.plasticexpert.co.uk/plastic-recycling/hdpe-plastic-recycling/>. Accedidos el 12 de noviembre de 2021.

## EL MÉTODO

Para este estudio, organizaciones participantes de IPEN compraron un total de 24 bolsas de pellets de plástico de polietileno de alta densidad (HDPE) de industrias locales de reciclado en 23 países diferentes.<sup>10</sup> En la India, se compraron los pellets en dos plantas de reciclado en ciudades diferentes.

Se recolectaron los pellets reciclados muestreados de manera que las muestras reflejaran una diversidad geográfica representativa de la mayoría de las regiones del mundo: África, Latinoamérica, Asia y Europa.

Se tomó una muestra aleatoria de pellets de cada bolsa y se enviaron las muestras a la Universidad de Química y Tecnología de Praga en la República Checa. De cada muestra, se utilizaron 2 gramos para realizar un análisis químico. El análisis se dirigió a identificar tres grupos de sustancias químicas: los retardantes de llama

bromados, el bisfenol A y los benzotriazoles estabilizadores de rayos UV.

El Anexo I proporciona detalles sobre los métodos analíticos utilizados y los resultados obtenidos.

Se analizaron los pellets para identificar la presencia de los siguientes retardantes de llama:

Las mezclas comerciales de éter de pentabromodifenilo (PentaBDE), éter de octabromodifenilo (OctaBDE) y éter de decabromodifenilo (DecaBDE); hexabromociclododecano (HBCD); decabromodifenil etano (DBDPE); hexabromobenceno (HBB); pentabromoeiltibenceno (PBEB); tereftalato de polibutileno (PBT); tetra bromo bisfenol A (TBBPA); BTBPE y OBIND.

Se analizaron los pellets para identificar la presencia de los siguientes benzotriazoles estabilizadores de rayos UV: UV-234, UV-326, UV-327, UV-328, UV-329 y UV-P.

<sup>10</sup> Argentina, Bangladesh, Camerún, República del Congo, Egipto, India, Kazajistán, Malasia, República de Mauricio, México, Nepal, Nigeria, Filipinas, Ruanda, Senegal, Serbia, Sri Lanka, Taiwán, Tanzania, Tailandia, Ukraine, Vietnam y Zambia.

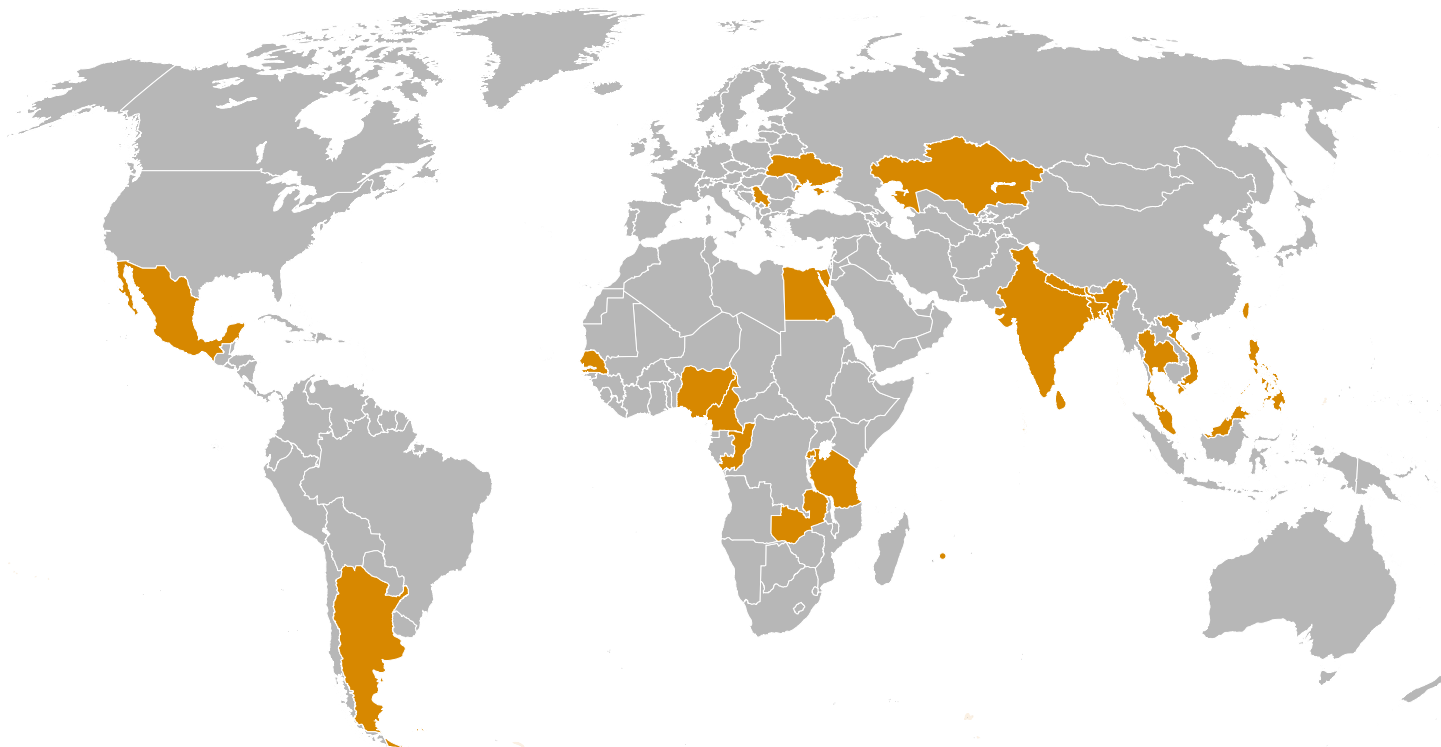


Figura 1. Países en donde se compraron los pellets.



Foto: Terre et Developpement, Camerún



Foto: CEJ, Sri Lanka



Foto: PANeM, República de Mauricio



Foto: ESDO, Bangladesh

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total, los análisis abarcan 18 sustancias añadidas al plástico (considerando las mezclas comerciales de PentaBDE y OctaBDE como una sola sustancia cada una). Dos muestras contenían 16 de estas sustancias químicas. En general, más de la mitad de las muestras (54%) contenían 11 sustancias químicas o más (ver la Figura 2).

De las 24 muestras de pellets analizadas, 21 (88%) contenían los tres grupos de sustancias químicas blanco (ver la Figura 3). Una muestra (4%) contenía sólo un grupo de sustancias químicas y dos muestras (8%) contenían dos grupos de sustancias químicas. Ninguna de las muestras de pellets estuvo libre de contaminación por parte de las sustancias químicas blanco.

## SE IDENTIFICARON VARIOS TIPOS DE PLÁSTICOS COMO MATERIA DE ORIGEN DE LOS PELLETS

De las 24 muestras, únicamente la muestra de Vietnam estuvo libre de contaminación de retardantes de llama bromados y de bisfenol A. Esto indica que en la mayoría de los casos, no se clasificó adecuadamente a los materiales antes de reciclar. En los plásticos de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) o de poliestireno de alto impacto (HIPS/PAI) se utilizan retardantes de llama bromados y comúnmente se utiliza Bisfenol A para producir plástico policarbonato. Ningunos de estos tipos de sustancias químicas se utilizan comúnmente en el polietileno de alta densidad (HDPE/PEAD).

La flotación/separación por densidad es una técnica efectiva utilizada en muchos países para separar diferentes tipos de plástico. Los plásticos tratados con bromo y los policarbonatos tienen densidades claramente diferentes que el PEAD, lo cual significa que se hundan en el agua mientras que el PEAD puede flotar. En el sector del reciclado informal en la India, por ejemplo, se ha utilizado esta técnica con éxito (Haarman, 2016). Sin embargo, las muestras de la India seguían conteniendo los tres tipos de sustancias químicas, lo cual indica que no se realizó ninguna clasificación previa.

La capacidad para clasificar los plásticos que llegan a una planta, se relaciona con la capacidad y el nivel de conciencia existente en la planta. Considerando las grandes cantidades de desechos plásticos que se generan localmente, además de los desechos importados, es muy probable que resulte menos prioritario clasificar

los desechos plásticos que someterlos al proceso de inmediato. Además, puede que entre los trabajadores de una planta de reciclado haya también un bajo nivel de conciencia sobre las sustancias químicas tóxicas en los plásticos y la necesidad de excluir a los plásticos que contengan retardantes de llama bromados y bisfenol A.

Sin embargo, la contaminación transversal entre diferentes tipos de plásticos es un problema para quienes reciclan en todos los países y no solamente en los países de ingresos bajos y medios. Por ejemplo, en un estudio reciente, se observó la contaminación entre diferentes tipos de polímeros reciclados aunque se hubieran comprado plásticos reciclados de polietileno y polipropileno de la más alta y pura calidad a las compañías de reciclado ubicadas en Austria y Alemania (Gall et al., 2021).

## CONTAMINACIÓN QUÍMICA GENERALIZADA EN LOS PELLETS

Como no hay transparencia acerca de las sustancias químicas que se le añaden a los plásticos durante su producción, es difícil que los que se dedican a reciclar tengan acceso a instrumentos analíticos, como los espectrometros de fluorescencia de rayos x, para determinar qué sustancias químicas están presentes en los plásticos que entran en el proceso de reciclado. Este estudio demuestra que, como resultado, la contaminación química de los pellets de plástico reciclado es un problema generalizado.

Previamente, en un conjunto de informes, IPEN ya había demostrado que cuando se reciclan desechos electrónicos que contienen retardantes de llama bromados, estas sustancias químicas tóxicas, junto con las dioxinas bromadas altamente tóxicas, terminan en un rango de productos de consumo, incluyendo utensilios de cocina y juguetes (Budin et al., 2020; Petrlik et al., 2021; Strakova et al., 2018). Los resultados de este estudio muestran resultados similares para los pellets de plástico reciclado. El retardante de llama bromado que se detectó más frecuentemente fue DecaBDE (detectado en 22 muestras), seguido de su sustituto DBDPE (en 18 muestras) y OBIND (en 14 muestras). Cabe destacar que casi todas las muestras de pellets contenían DecaBDE, a pesar de que en el año 2017, se le incluyó en la lista del Convenio de Estocolmo para su eliminación global, sin ninguna excepción para el reciclado. Diecisiete de los 23 países en este estudio han

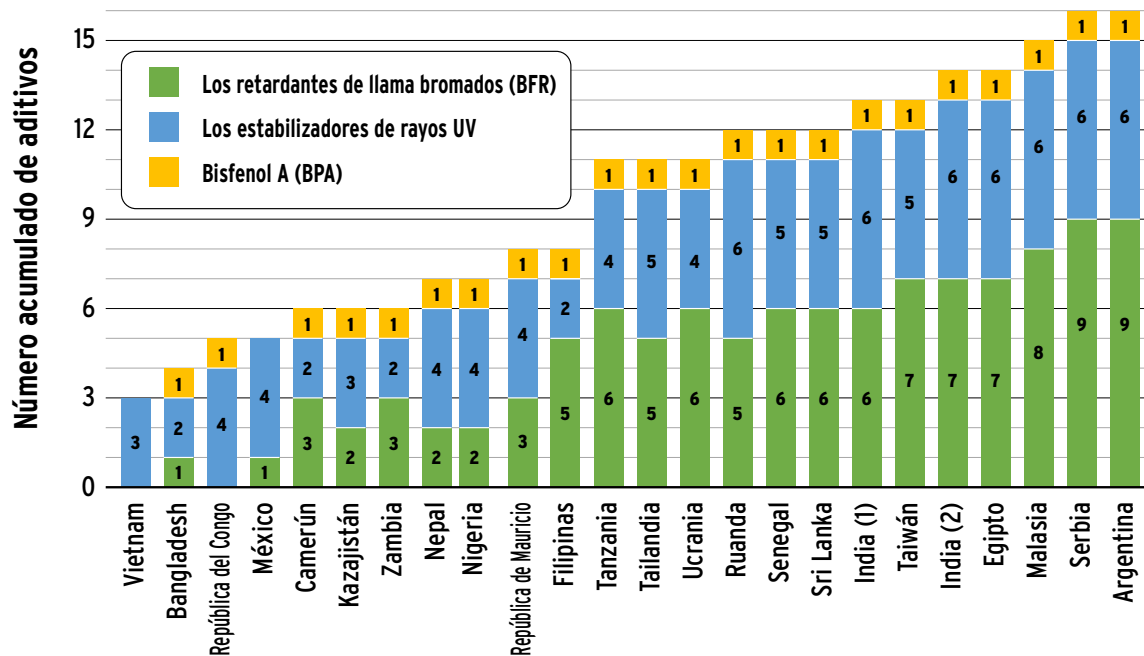


Figura 2. Sustancias químicas por muestra. Los números dentro de las barras muestran cuántas sustancias de cada grupo se detectaron en cada muestra.

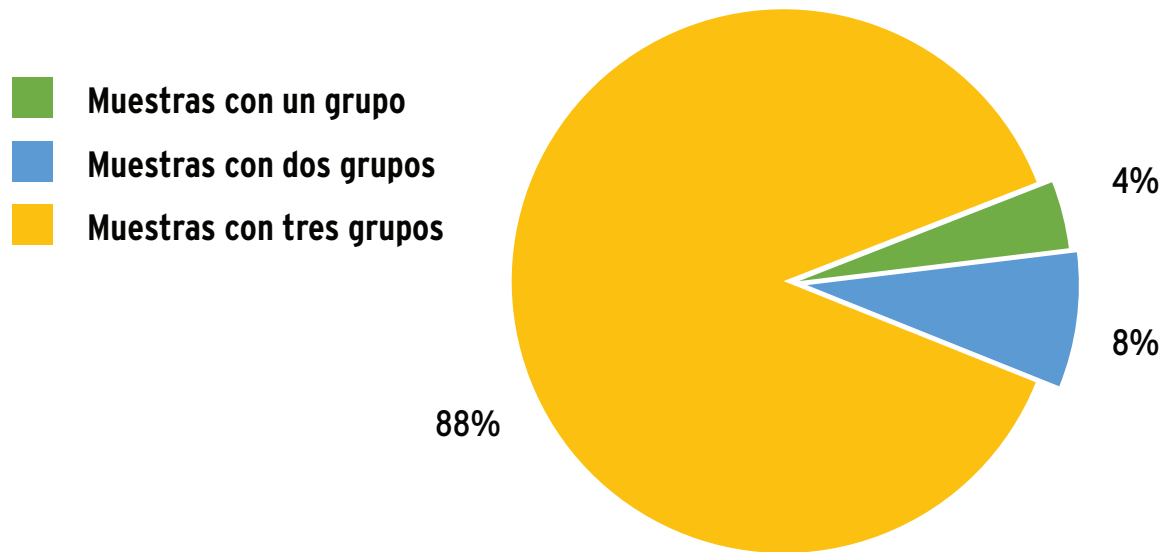


Figura 3. Porcentaje de las muestras con sustancias químicas de uno, dos, o tres de los grupos blanco.

ratificado esta decisión, incluyendo los dos países en los cuales no se detectó DecaBDE.<sup>11</sup> Las dos sustancias químicas, PentaBDE y OctaBDE, incluidas en la lista

del Convenio de Estocolmo para su eliminación global en 2009 con exenciones para el reciclado, estaban presentes en frecuencias y niveles más bajos, indicando que estos retardantes de llama obsoletos finalmente se encuentran en proceso de eliminación gradual.

<sup>11</sup> Accedido el 24 de noviembre de 2021 <http://chm.pops.int/Countries/StatusofRatifications/Amendmentstoannexes/tabid/3486/Default.aspx>

A pesar de que en muchos países cada vez más se está regulando el Bisfenol A, debido a sus impactos sobre la salud, sobre todo en los niños, también se le detectó en la mayoría de las muestras (92%). Además, es importante notar que en los pellets se detectó la presencia de muchos benzotriazoles estabilizadores de rayos UV. A pesar de ser sustancias industriales de alto volumen añadidas a muchos tipos diferentes de plásticos, sólo recientemente han caído bajo un escrutinio regulatorio más meticuloso. El estabilizador UV-328 actualmente está siendo evaluado por el Comité de Examen de los COP del Convenio de Estocolmo, el cual acordó que reúne los criterios de tamizaje de la persistencia, la bioacumulación, la toxicidad, y el transporte a larga distancia a localidades remotas. Se trata de la primera sustancia química evaluada bajo el Convenio en la que se ha detectado que se transporta a largas distancias principalmente como componente de la basura plástica.

Este estudio se limitó a tres tipos de sustancias químicas, aunque hay muchas otras sustancias químicas tóxicas conocidas que se le añaden a los plásticos, como los ftalatos, los metales pesados, y las parafinas cloradas (McGrath et al., 2021; Palacios-Arreola et al., 2021; Strakova et al., 2018). En los últimos años, ha empezado a emerger evidencia de una contaminación química generalizada en los plásticos reciclados, la cual, además, va en aumento. Considerando el número de aditivos plásticos con propiedades que se sabe o

sospecha que son peligrosas (Wiesinger et al., 2021), hay causa de preocupación.

### EL CONTENIDO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS DESPIERTA PREOCUPACIONES SOBRE LOS IMPACTOS SOBRE LA SALUD

Los tres tipos de sustancias químicas elegidas para este estudio pueden ser causa de daños a la salud humana. Existen estudios científicos que apoyan la conclusión de que bisfenol A (Flaws et al., 2020), ocho retardantes de llama bromados<sup>12</sup> (Dong et al., 2021; Lu et al., 2020; Lyche et al., 2015; X. Wang et al., 2019) y tres de los estabilizadores de rayos UV (UV-P, UV-329 y UV-328) (Sakuragi et al., 2021) tienen propiedades que perturban el sistema endocrino. Sin embargo, existe muy poca información publicada sobre las otras sustancias químicas como para llegar a alguna conclusión sobre sus propiedades perturbadoras del sistema endocrino. Como se ve en la Figura 4, todas las muestras contenían, por lo menos, dos de las doce sustancias químicas que se sabe que perturban el sistema endocrino y la mayoría de las muestras contenían más de cinco.

Además de que potencialmente perturban el sistema endocrino, muchas de estas sustancias químicas tienen propiedades tóxicas adicionales. Si nos enfocamos en las sustancias que se han detectado más comúnmente

12 PentaBDE, OctaBDE, DecaBDE, HBCD, TBBPA, PBEB, BTBPE y DBDPE.

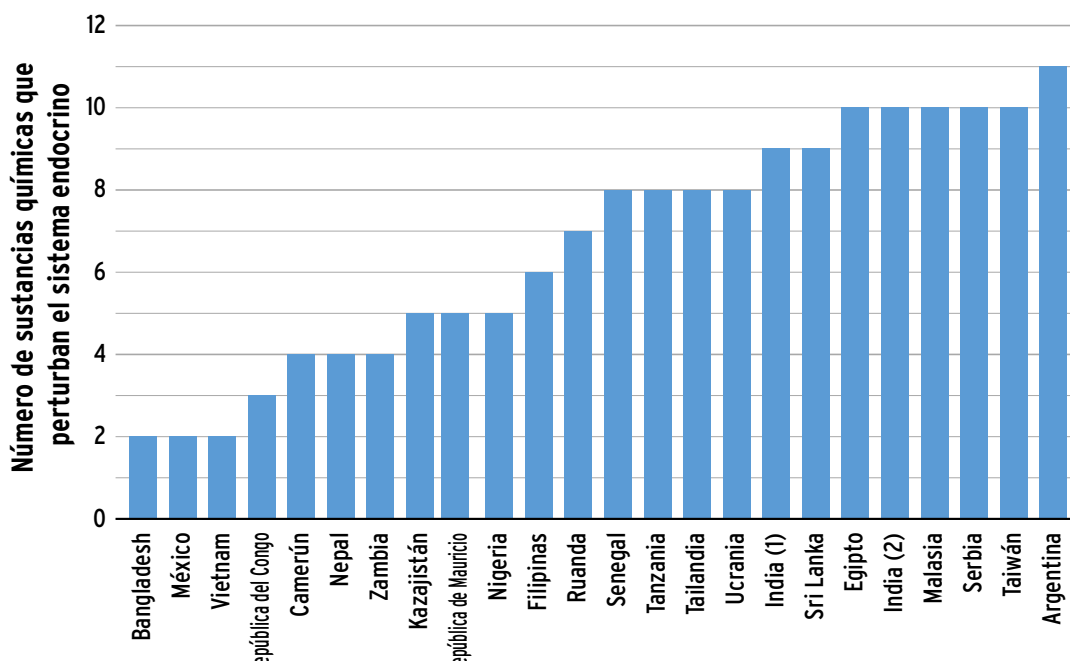


Figura 4. Número de sustancias que perturban el sistema endocrino por muestra.

en los pellets reciclados, se sabe que los retardantes de llama polibromados, como DecaBDE, tienen propiedades neurotóxicas (Hendriks et al., 2015). También está emergiendo evidencia de que los retardantes de llama bromados más recientes, como el decabromodifeniletano, comparten esta propiedad, además de sus propiedades perturbadoras del sistema endocrino (Jin et al., 2018). También existen indicios de que el DBD-PE puede causar impactos cardiovasculares adversos (Jing et al., 2019) y que el BTBPE puede causar efectos citotóxicos en humanos (Shi et al., 2021).

Diecinueve de las muestras de pellets contenían UV-327, que está clasificado como una Sustancia Extremadamente Preocupante en la UE y, por lo tanto, requerirían de una autorización específica antes de su uso. Las notificaciones proporcionadas por las compañías indican que le puede causar daño a los órganos internos, que daña la vida acuática con efectos duraderos, causa irritación ocular seria, causa irritación a la piel y puede causar irritación respiratoria.<sup>13</sup>

Finalmente, aunque existe poca información publicada acerca de los potenciales impactos sobre la salud de varios de los retardantes de llama bromados más

recientes, así como de los estabilizadores de rayos UV, su presencia despierta preocupación. Aunque todas las muestras de los pellets contenían estabilizadores de rayos UV UV-326, muy pocos estudios han observado sus potenciales impactos sobre la salud. Sin embargo, existen indicios de que pueden impactar la expresión genética relacionada con las inflamaciones y las respuestas inmunológicas (Li et al., 2019; Nagayoshi et al., 2015).

El gran número de sustancias químicas tóxicas en muchas de las muestras resalta la necesidad de considerar los efectos potenciales de las mezclas. Está bien documentado que una mezcla de las sustancias químicas perturbadoras del sistema endocrino puede causar un impacto combinado mayor que la simple evaluación del impacto de cada sustancia química perturbadora del sistema endocrino aislada (Kortenkamp, 2014). Observando la amplia gama de usos potenciales de los pellets reciclados, incluyendo la producción de juguetes y envases de plástico, estos resultados despiertan preocupaciones sobre los potenciales impactos sobre la salud y la exposición de las poblaciones vulnerables, como los niños.

<sup>13</sup> <https://echa.europa.eu/sv/substance-information/-/substanceinfo/100.021.259>





## CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Este estudio demostró que existe una contaminación generalizada de pellets de plástico reciclado con sustancias químicas tóxicas. Es probable que en parte se deba al uso de desechos electrónicos y plásticos policarbonatos como los materiales de origen, aunque también se puede deber al uso generalizado de sustancias químicas tóxicas en los plásticos en general. Es inaceptable que se utilicen estos pellets como materia prima para la manufactura de productos nuevos, sobre todo productos que pueden exponer a los niños a estas sustancias químicas.

Los resultados de este estudio subrayan la necesidad de considerar las sustancias químicas tóxicas a la luz de un enfoque de economía circular y que el uso continuo de estas sustancias hace que la mayoría de los plásticos en uso hoy en día sean no circulares. La única manera en la que se puede abordar este problema es a través de un estricto control de las sustancias que se permiten en los plásticos.

Para evitar que los aditivos químicos tóxicos contenidos en los plásticos dañen la economía circular, las agencias internacionales y los formuladores de políticas deberán:

- aplicar las mismas reglas de seguridad a los materiales manufacturados con plásticos reciclados, que a aquellos producidos con plásticos vírgenes;
- acelerar la eliminación gradual de ‘grupos’ de sustancias químicas tóxicas, en vez de adoptar un

enfoque que aborde a cada sustancia a título individual;

- recurrir a su regulación para promover alternativas no químicas seguras que apoyen la transición hacia una economía circular; y
- Detener la exportación de desechos plásticos que contengan aditivos químicos tóxicos, sobre todo los desechos electrónicos.

Los productores deberán:

- Re-diseñar los productos para permitir que se dé una economía circular libre de sustancias tóxicas, incluyendo la eliminación gradual de los aditivos químicos tóxicos y evitar el uso de alternativas que se sabe o se sospecha que son tóxicas; y
- Colocar los ingredientes de los plásticos, incluyendo los aditivos, en las etiquetas y permitir que se pueda rastrear el contenido químico de los plásticos a lo largo de su vida y de sus etapas como desechos.

En general, los gobiernos deberán trabajar por reducir la producción de plásticos no esenciales, incluyendo ponerle fin a los subsidios a la extracción de combustibles fósiles y a las plantas de producción de plástico. Los acuerdos globales deberán de evitar la liberación de plásticos al medio ambiente.

# ANEXO 1 RESULTADOS ANALÍTICOS

Todas las concentraciones se dan en µg/kg.

## RETARDANTES DE LLAMA BROMADOS

Existen tres mezclas comerciales de retardantes de llama polibromados, nombrados según el número promedio de bromos adheridos a la estructura del éter de difenilo. Los componentes de las mezclas comerciales de OctaBDE incluyen los siguientes congéneres: BDE 153, 154, 183, 196, 197, 203, 206 y 207. Los componentes de las mezclas comerciales de DecaBDE son BDE 209 y el HBCD incluye tres isómeros; α-, β-, y γ-HBCD.

Se aislaron retardantes de llama por extracción con n-hexano: diclorometano (4:1, v/v) y se determinó utilizar cromatografía de gases aunada con espectrometría de masas en modalidad de ionización química de iones negativos (GC-MS-NICI). La identificación y la cuantificación de los isómeros de HBCD se realizaron a través de cromatografía líquida interconectada con espectrometría de masa en tándem e ionización por electropulverización en modo negativo (UHPLC-MS/MS-ESI-).

El límite de detección para PBDE 206, PBDE 207, PBDE 209 y OBIND fue de 1.0 µg/kg, para DBDPE de 5.0 µg/kg y para todos los demás fue de 0.5 µg/kg.

País	Mezcla comercial de PentaBDE								Mezcla comercial OctaBDE								Deca-BDE	HBCD			TBBPA	OBIND	PBEB	PBT	BTBPE	DBDPE	HBB
	PBDE 28	PBDE 47	PBDE 49	PBDE 66	PBDE 85	PBDE 99	PBDE 100	PBDE 153	PBDE 154	PBDE 183	PBDE 196	PBDE 197	PBDE 203	PBDE 206	PBDE 207	PBDE 209	α-HBCD	β-HBCD	γ-HBCD								
Argentina	*	*	1.02	*	*	*	*	25.5	*	0.509	*	*	*	7.75	6.00	68.5	0.534	*	*	15.5	6.42	*	*	2.13	434	*	
Bangladesh	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.21	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Camerún	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.00	14.7	*	*	*	*	*	*	*	*	1.87	*	*	
Congo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Egipto	*	*	*	*	*	*	*	49.7	*	106	400	117	33.6	1136	815	12283	*	*	*	477	545	1.43	5.26	298	4379	3.86	
Filipinas	*	*	*	*	*	*	*	1.93	*	0.526	2.65	1.03	0.700	35.9	33.6	348	*	*	*	3.03	3.30	*	*	*	69.1	*	
India 1	*	*	*	*	*	*	*	5.29	*	4.78	3.12	3.96	0.764	27.7	27.2	382	*	*	*	15.6	3.45	*	*	17.7	288	*	
India 2	*	*	0.660	*	*	*	*	*	*	1.07	1.92	1.20	0.917	32.0	28.6	250	*	*	*	11.0	3.21	*	*	2.84	181	*	
Kazajistán	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.38	*	*	*	*	*	*	*	*	42.3	*	
Malasia	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.36	16.7	7.40	6.64	351	235	2103	*	*	*	6.22	1334	2.80	70.3	7.78	654	5.75	
México	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.40	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Nepal	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	19.1	*	*	*	*	*	*	*	*	15.6	*	
Nigeria	*	*	*	*	*	*	*	0.842	*	*	*	*	*	*	*	2.88	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
República de Mauricio	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	26.5	*	*	*	*	4.51	*	*	*	133	*	
Ruanda	*	*	*	*	*	*	*	13.5	*	*	*	*	*	14.6	11.9	211	*	*	*	*	35.7	*	0.546	*	1515	*	
Senegal	*	*	*	*	*	*	*	6.34	*	0.643	1.97	1.21	1.57	31.9	26.4	702	*	*	*	4.28	16.8	*	*	3.31	1102	*	
Serbia	*	*	*	*	*	*	*	1.11	*	2.85	5.23	3.81	1.72	95.5	103	728	*	*	*	3.23	34.0	1.14	*	4.20	590	*	
Sri Lanka	*	*	*	*	*	*	*	3.96	*	0.547	0.786	0.521	*	18.1	13.3	204	*	*	*	3.05	1.98	*	*	2.28	124	*	
Taiwán	*	0.585	*	*	*	2.27	*	64.7	*	2.15	3.76	3.08	1.06	50.8	45.3	493	*	*	*	34.4	21.0	*	*	31.1	1201	*	
Tanzania	*	0.743	*	*	*	*	*	5.91	*	1.03	1.13	0.952	*	34.4	27.9	675	*	*	*	2.41	*	*	*	2.77	42.4	*	
Tailandia	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.95	1.94	1.36	*	8.36	*	3.59	*	*	*	*	94.6	*	*	29.0	837	*	
Ucrania	*	*	*	*	*	*	*	0.522	*	*	*	*	*	4.32	*	20.6	*	*	*	2.16	1.71	*	*	1.45	78.4	*	
Vietnam	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Zambia	*	*	*	*	*	*	*	3.43	*	*	*	*	*	4.82	2.68	28.2	*	*	*	*	*	*	*	*	47.0	*	

\* - No se detectó

## BISFENOL A

Se extrajo bisfenol A de los pellets utilizando la extracción ultrasónica con diclorometano y la concentración subsiguientemente determinada con base en una cromatografía líquida de desempeño ultra alto-espectrometría de masas/espectrometría de masas (UHPLC-MS/MS).

El límite de detección fue 1.25 µg/kg.

País	BPA
Argentina	1,256
Bangladesh	60
Camerún	178
Congo	5
Egipto	61,489
Filipinas	172
India 1	10,367
India 2	35,225
Kazajistán	665
Malasia	2,295
México	*
Nepal	173
Nigeria	139
República de Mauricio	4,621
Ruanda	126
Senegal	691
Serbia	19,755
Sri Lanka	226
Taiwán	994
Tanzania	742
Tailandia	1,090
Ucrania	478
Vietnam	*
Zambia	859

\* - No se detectó

## ESTABILIZADORES DE RAYOS UV

Los estabilizadores de rayos UV se extrajeron de los pellets a través de la extracción ultrasónica con diclorometano y concentraciones subsiguientemente determinadas por medio de cromatografía líquida de ultra alto desempeño-espectrometría de masas/espectrometría de masas (UHPLC-MS/MS).

El límite de detección para UV-234, 326 y 327 fue 0.01 µg/kg; para UV-328 0.03 µg/kg y para UV-P 0.1 µg/kg.

País	UV-234	UV-326	UV-327	UV-328	UV-329	UV-P
Argentina	18.6	1,724	546	92.0	5.64	3.36
Bangladesh	*	1.42	0.070	*	*	*
Camerún	*	0.258	0.393	*	*	*
Congo	*	83,228	56,178	*	9,552	560
Egipto	498	4,788	1,012	334	1,950	699
Filipinas	72.7	1,309	18.4	6.57	3.98	384
India 1	10.7	165	376	15.7	157	37.1
India 2	*	1,546	*	*	*	76.4
Kazajistán	9.62	1,105	215	39.3	3.91	185
Malasia	*	821	427	10.9	1.65	*
México	0.225	3.82	3.54	0.365	*	*
Nepal	1.69	313	4.93	1.66	*	*
Nigeria	*	427	48.0	1.63	1.03	*
República de Mauricio	*	4,877	*	*	173	*
Ruanda	1.42	318	212	19.9	0.654	0.344
Senegal	27.5	344	121	2.20	3.29	*
Serbia	5.50	906	10.7	0.102	1.17	7.65
Sri Lanka	*	758	86.1	101	7.79	99.6
Taiwán	*	3,511	165	66.2	11.4	97.0
Tanzania	0.496	1,115	129	1.81	*	*
Tailandia	23.8	1,069	*	87.3	124	216
Ucrania	43.0	14,638	*	21.0	*	82.2
Vietnam	*	11,769	*	*	*	22.9
Zambia	*	1,667	39.7	*	*	*

\* - No se detectó

# REFERENCIAS

- Asimakopoulos, A. G., Wang, L., Thomaidis, N. S., & Kannan, K. (2013). Benzotriazoles and benzothiazoles in human urine from several countries: A perspective on occurrence, biotransformation, and human exposure. *Environ Int*, *59*, 274-281. doi:10.1016/j.envint.2013.06.007
- Budin, C., Petrlik, J., Strakova, J., Hamm, S., Beeler, B., Behnisch, P., . . . Brouwer, A. (2020). Detection of high PBDD/Fs levels and dioxin-like activity in toys using a combination of GC-HRMS, rat-based and human-based DR CALUX (R) reporter gene assays. *Chemosphere*, *251*. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.126579
- Dong, L., Wang, S., Qu, J., You, H., & Liu, D. (2021). New understanding of novel brominated flame retardants (NBFRs): Neuro(endocrine) toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *208*, 111570. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111570
- Flaws J, D. P., Patisaul H B., Gore A, Raetzman L, Vandenberg L N. (2020). Plastics, EDCs & Health: A Guide for Public Interest Organizations and Policymakers on Endocrine Disrupting Chemicals & Plastics. Retrieved from <https://ipen.org/documents/plastics-edcs-health>
- Fromme, H., Becher, G., Hilger, B., & Völkel, W. (2016). Brominated flame retardants – Exposure and risk assessment for the general population. *Int J Hyg Environ Health*, *219*(1), 1-23. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2015.08.004
- Gall, M., Freudenthaler, P. J., Fischer, J., & Lang, R. W. (2021). Characterization of Composition and Structure–Property Relationships of Commercial Post-Consumer Polyethylene and Polypropylene Recyclates. *Polymers*, *13*(10), 1574. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/10/1574>
- Haarman, A. M. G. (2016). Managing hazardous additives in WEEE plastic from the Indian informal sector. A study on applicable identification & separation methods. Retrieved from <https://www.sustainable-recycling.org/reports/managing-hazardous-additives-in-weee-plastic-from-the-indian-informal-sector/>
- Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *J Hazard Mater*, *344*, 179-199. doi:10.1016/j.jhazmat.2017.10.014
- Healy, B. F., English, K. R., Jagals, P., & Sly, P. D. (2015). Bisphenol A exposure pathways in early childhood: Reviewing the need for improved risk assessment models. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, *25*(6), 544-556. doi:10.1038/jes.2015.49
- Hendriks, H. S., & Westerink, R. H. S. (2015). Neurotoxicity and risk assessment of brominated and alternative flame retardants. *Neurotoxicology and Teratology*, *52*, 248-269. doi:10.1016/j.ntt.2015.09.002
- Jin, M. Q., Zhang, D., Zhang, Y., Zhou, S. S., Lu, X. T., & Zhao, H. T. (2018). Neurological responses of embryo-larval zebrafish to short-term sediment exposure to decabromodiphenylethane. *Journal of Zhejiang University-Science B*, *19*(5), 400-408. doi:10.1631/jzus.B1800033
- Jing, L., Sun, Y. M., Wang, Y. W., Liang, B. L., Chen, T., Zheng, D., . . . Shi, Z. X. (2019). Cardiovascular toxicity of decabrominated diphenyl ethers (BDE-209) and decabromodiphenyl ethane (DBDPE) in rats. *Chemosphere*, *223*, 675-685. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.02.115
- Kim, J. W., Chang, K. H., Prudente, M., Viet, P. H., Takahashi, S., Tanabe, S., . . . Isobe, T. (2019). Occurrence of benzotriazole ultraviolet stabilizers (BUVS) in human breast milk from three Asian countries. *Science of The Total Environment*, *655*, 1081-1088. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.298
- Kodavanti, P. R. S., & Loganathan, B. G. (2014). Chapter 25 - Polychlorinated biphenyls, polybrominated biphenyls, and brominated flame retardants. In R. C. Gupta (Ed.), *Biomarkers in Toxicology* (pp. 433-450). Boston: Academic Press.
- Kortenkamp, A. (2014). Low dose mixture effects of endocrine disruptors and their implications for regulatory thresholds in chemical risk assessment. *Current Opinion in Pharmacology*, *19*, 105-111. doi:https://doi.org/10.1016/j.coph.2014.08.006
- Lehmler, H.-J., Liu, B., Gadogbe, M., & Bao, W. (2018). Exposure to Bisphenol A, Bisphenol F, and Bisphenol S in U.S. Adults and Children: The National Health and Nutrition Examination Survey 2013-2014. *ACS Omega*, *3*(6), 6523-6532. doi:10.1021/acsomega.8b00824
- Li, Z. T., Li, W. J., Zha, J. M., Chen, H. H., Martyniuk, C. J., & Liang, X. F. (2019). Transcriptome analysis reveals benzotriazole ultraviolet stabilizers regulate networks related to inflammation in juvenile zebrafish (Danio rerio) brain. *Environmental Toxicology*, *34*(2), 112-122. doi:10.1002/tox.22663
- Liang, X. F., Li, J. J., Martyniuk, C. J., Wang, J., Mao, Y. F., Lu, H., & Zha, J. M. (2017). Benzotriazole ultraviolet stabilizers alter the expression of the thyroid hormone pathway in zebrafish (Danio rerio) embryos. *Chemosphere*, *182*, 22-30. doi:10.1016/j.chemosphere.2017.05.015
- Lowe, C. N., Phillips, K. A., Favela, K. A., Yau, A. Y., Wambaugh, J. F., Sobus, J. R., . . . Isaacs, K. K. (2021). Chemical Characterization of Recycled Consumer Products Using Suspect Screening Analysis. *Environmental science & technology*, *55*(16), 11375-11387. doi:10.1021/acs.est.1c01907
- Lu, L., Wu, H., Cui, S., Zhan, T., Zhang, C., Lu, S., . . . Zhuang, S. (2020). Pentabromoethylbenzene Exposure Induces Transcriptome Aberration and Thyroid Dysfunction: In Vitro, in Silico, and in Vivo Investigations. *Environmental science & technology*, *54*(19), 12335-12344. doi:10.1021/acs.est.0c03308
- Lyche, J. L., Rosseland, C., Berge, G., & Polder, A. (2015). Human health risk associated with brominated flame-retardants (BFRs). *Environ Int*, *74*, 170-180. doi:10.1016/j.envint.2014.09.006
- McGrath, T. J., Poma, G., Matsukami, H., Malarvannan, G., Kajiwara, N., & Covaci, A. (2021). Short- and Medium-Chain Chlorinated Paraffins in Polyvinylchloride and Rubber Consumer Products and Toys Purchased on the Belgian Market. *Int J Environ Res Public Health*, *18*(3), 1069. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/3/1069>
- Nagayoshi, H., Kakimoto, K., Takagi, S., Konishi, Y., Kajimura, K., & Matsuda, T. (2015). Benzotriazole Ultraviolet Stabilizers Show Potent Activities as Human Aryl Hydrocarbon Receptor Ligands. *Environmental science & technology*, *49*(1), 578-587. doi:10.1021/es503926w
- Palacios-Arreola, M. I., Morales-Montor, J., Cazares-Martinez, C. J., Gomez-Arroyo, S., & Nava-Castro, K. E. (2021). Environmental pollutants: an immunoenvironmental perspective on phthalates. *Frontiers in Bioscience-Landmark*, *26*(3), 401-430. doi:10.2741/4899
- Petrlik, J., Beeler, B., Strakova, J., Möller, M., Allo'o Allo'o, S.M., Amera, T., Brosché, S., Gharbi, S., Hajri, I., Kuepou, G., Mng'anya, S., Ngakeng, A., Ochieng Ochola, G., Rhaless, N. and Zulkovska, K. (2021). Hazardous Plastic Waste Found in Toys and Consumer Products Sold in Africa: Brominated flame retardants in consumer products made of recycled plastic from seven African countries. Retrieved from <https://ipen.org/documents/hazardous-chemicals-found-plastic-products-africa>
- Regional Activity Centre for Sustainable Consumption and Production (SCP/RAC). (2020). Plastic's toxic additives and the circular economy. Retrieved from <http://www.cprac.org/en/news-archiv/general/toxic-additives-in-plastics-hidden-hazards-linked-to-common-plastic-products>
- Sakuragi, Y., Takada, H., Sato, H., Kubota, A., Terasaki, M., Takeuchi, S., . . . Kojima, H. (2021). An analytical survey of benzotriazole UV stabilizers in plastic products and their endocrine-disrupting potential via human estrogen and androgen receptors. *Science of The Total Environment*, *800*. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149374
- Shi, J., Wang, X. T., Chen, L. L., Deng, H. P., & Zhang, M. (2021). HBCD, TBEC, and BTBPE exhibit cytotoxic effects in human vascular endothelial cells by regulating mitochondria function and ROS production. *Environmental Toxicology*, *36*(8), 1674-1682. doi:10.1002/tox.23163
- Strakova, J., DiGangi, J., Jensen, G.K. (2018). Toxic Loophole: Recycling Hazardous Waste into New Products. Retrieved from: <https://ipen.org/documents/toxic-loophole-recycling-hazardous-waste-new-products>
- Sugeng, E. J., de Cock, M., Schoonmade, L. J., & van de Bor, M. (2017). Toddler exposure to flame retardant chemicals: Magnitude, health concern and potential risk- or protective factors of exposure: Observational studies summarized in a systematic review. *Chemosphere*, *184*, 820-831. doi:https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.041
- Takada, H., Bell, L. (2021). Plastic Waste Management Hazards: Waste-to-Energy, Chemical Recycling, and Plastic Fuels. Retrieved from: <https://ipen.org/documents/plastic-waste-management-hazards-waste-energy-chemical-recycling-and-plastic-fuels>
- Vandenberg, L. N., Chahoud, I., Heindel, J. J., Padmanabhan, V., Paumgarten, F. J. R., & Schoenfelder, G. (2010). Urinary, Circulating, and Tissue Biomonitoring Studies Indicate Widespread Exposure to Bisphenol A. *Environ Health Perspect*, *118*(8), 1055-1070. doi:10.1289/ehp.0901716

- Vandenberg, L. N., Ehrlich, S., Belcher, S. M., Ben-Jonathan, N., Dolinoy, D. C., Hugo, E. R., . . . vom Saal, F. S. (2013). Low dose effects of bisphenol A. *Endocrine Disruptors*, 1(1), e26490. doi:10.4161/endo.26490
- Vom Saal, F. S., & Vandenberg, L. N. (2021). Update on the Health Effects of Bisphenol A: Overwhelming Evidence of Harm. *Endocrinology*, 162(3). doi:10.1210/endo/bqaa171
- Vuong, A. M., Yolton, K., Cecil, K. M., Braun, J. M., Lanphear, B. P., & Chen, A. M. (2020). Flame Retardants and Neurodevelopment: an Updated Review of Epidemiological Literature. *Current Epidemiology Reports*, 7(4), 220-236. doi:10.1007/s40471-020-00256-z
- Wang, L., Asimakopoulos, A. G., & Kannan, K. (2015). Accumulation of 19 environmental phenolic and xenobiotic heterocyclic aromatic compounds in human adipose tissue. *Environ Int*, 78, 45-50. doi:10.1016/j.envint.2015.02.015
- Wang, X., Ling, S., Guan, K., Luo, X., Chen, L., Han, J., . . . Zhou, B. (2019). Bioconcentration, Biotransformation, and Thyroid Endocrine Disruption of Decabromodiphenyl Ethane (Ddbpe), A Novel Brominated Flame Retardant, in Zebrafish Larvae. *Environmental science & technology*, 53(14), 8437-8446. doi:10.1021/acs.est.9b02831
- Wiesinger, H., Wang, Z., & Hellweg, S. (2021). Deep Dive into Plastic Monomers, Additives, and Processing Aids. *Environmental science & technology*, 55(13), 9339-9351. doi:10.1021/acs.est.1c00976





por un futuro sin tóxicos

[www.ipen.org](http://www.ipen.org)

[ipen@ipen.org](mailto:ipen@ipen.org)

[@ToxicsFree](https://www.instagram.com/ToxicsFree)